

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND

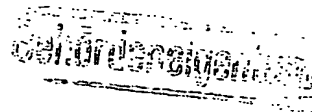


DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3813570 A1**

⑤1 Int. Cl. 4:  
**B29C 65/16**  
// B23K 20/06,20/10

⑳ Aktenzeichen: P 38 13 570.1  
㉔ Anmeldetag: 22. 4. 88  
㉕ Offenlegungstag: 9. 11. 89



DE 3813570 A1

㉑ Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

㉒ Erfinder:

Klein, Rolf, Dipl.-Ing.; Poprawe, Reinhart, Dr., 5100  
Aachen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung

Verfahren zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung, die auf eine Fügestelle der insbesondere aus thermoplastischem Kunststoff bestehenden Werkstücke gerichtet und mit einer Energiedichte angewendet wird, die ein Aufschmelzen und Ineinanderfließen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle durch Energieabsorption bewirkt.

Um die gesamte zur Verfügung gestellte Strahlungsenergie zum Aufschmelzen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle auszunutzen, wird dieses Verfahren so durchgeführt, daß die Werkstückbestrahlung im Sinne vollständiger Energieabsorption ausschließlich durch Werkstoffvolumen der Werkstücke durchgeführt wird.

DE 3813570 A1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung, die auf eine Fügestelle der insbesondere aus thermoplastischem Kunststoff bestehenden Werkstücke gerichtet und mit einer Energiedichte angewendet wird, die ein Aufschmelzen und Ineinanderfließen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle durch Energieabsorption bewirkt.

Das Schweißen metallischer Werkstücke mit Laserstrahlung erfolgt durch Aufschmelzen der Werkstückoberfläche im Bereich der Fügestelle. Dabei wird die zum Aufschmelzen in das Werkstück eingekoppelte Energie durch Wärmeleitung in größere Tiefen transportiert. Bei Werkstücken mit geringer Wärmeleitung, beispielsweise aus Keramik oder Kunststoff, ist ein Aufschmelzen der Werkstückoberfläche mit der Gefahr einer Schädigung des Werkstoffs durch Überhitzung verbunden und die Wärmeleitung ist gering, so daß ein herkömmliches Schweißen mit Laserstrahlung zu unbefriedigenden Ergebnissen führt.

Konventionelle Schweißverfahren für z.B. thermoplastische Kunststoffe sind Siegelschweißen, Warmgasschweißen, Vibrationsschweißen und Ultraschallschweißen. Beim Siegelschweißen und beim Warmgasschweißen erfolgt das Aufschmelzen des Werkstoffs über Wärmeleitung, nachdem die nötige Energie über die Werkstückoberfläche eingekoppelt wurde. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit wird jedoch durch die geringe Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs begrenzt. Siegelschweißen, Vibrationsschweißen und Ultraschallschweißen sind werkzeugabhängige Fügeverfahren, weil die zum Verschweißen der Werkstücke nötige Energie durch speziell für die Füge- und Werkstückgeometrie herzustellende Werkzeuge übertragen werden muß. Diese Verfahren sind daher nicht sehr anpassungsfähig.

Aus der DE-OS 25 44 371 ist ein Verfahren zum Verschweißen von thermoplastischen Folien bekannt, bei dem Laserlicht in übereinandergelegte Folienschichten eingestrahlt und dabei zum Teil absorbiert wird. Ein Teil der durch die Folie hindurchgestrahlten Laserenergie trifft auf ein Unterlagsteil, das die Energie zurückstrahlt. Beim Auftreffen auf dieses Unterlagsteil wird dieses erwärmt, so daß es entsprechend beschaffen sein muß, um der Wärmebeanspruchung zu widerstehen. Das Zurückstrahlen von Energie durch ein erwärmtes Unterlagsteil ist offensichtlich nachteilig, weil durch die Erwärmung des Unterlagsteils Energie verlorengeht, und weil die Prozeßgeschwindigkeit wegen der erforderlichen Erwärmung des Unterlagsteils erheblich herabgesetzt werden muß.

Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so zu verbessern, daß die gesamte zur Verfügung gestellte Strahlungsenergie zum Aufschmelzen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle zur Verfügung steht.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Werkstückbestrahlung im Sinne vollständiger Energieabsorption ausschließlich durch Werkstoffvolumen der Werkstücke durchgeführt wird.

Für die Erfindung ist von Bedeutung, daß die gesamte Energie der Laserstrahlung innerhalb des Werkstoffs der Werkstücke zum Aufschmelzen zur Verfügung gestellt wird. Dadurch kann Energieverlust praktisch vollständig ausgeschlossen werden, so daß mit Lasern kleiner Leistung gearbeitet werden kann, die entsprechend preiswert sind, bzw. so daß eine größere Bearbeitungs-

geschwindigkeit ermöglicht wird. Die Ausschaltung von Wärmeleitungsvorgängen beim Einkoppeln der Laserenergie in die Werkstücke ermöglicht ebenfalls grundsätzlich eine Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit.

Vorteilhaft ist es, das Energieabsorptionsvermögen des Werkstoffs mit Zusatzstoffen zu beeinflussen, die dem Werkstoff bei dessen Herstellung beigegeben werden. Solche Zusatzstoffe sind Füllstoffe, Farbstoffe, Weichmacher usw. Sie werden im Hinblick darauf ausgewählt, daß Laserstrahlung bestimmter Wellenlänge mehr oder weniger absorbiert wird. Dabei kann die Beigabe der Zusatzstoffe so erfolgen, daß damit auch die Eindringtiefe der Laserstrahlung in den Werkstoff beeinflusst wird, wodurch die Aufschmelztiefe beeinflussbar ist. Es ist also z.B. möglich, eine Folie auf einer Seite mit einer Schicht zu versehen, in der die Laserstrahlung vollständig absorbiert wird, so daß dementsprechend auch nur diese Schicht aufschmilzt. Zum Aufschmelzen der gesamten Schicht muß die Schichtdicke auf die pro Zeiteinheit zugeführte Laserenergie abgestimmt werden. Eine Möglichkeit für eine solche Abstimmung ist es, die Energieabsorption im Werkstoff durch eine Auswahl der Wellenlänge der Laserstrahlung zu beeinflussen. Es versteht sich jedoch, daß auch andere, an sich bekannte Verfahren verwendet werden können, beispielsweise die Beeinflussung der Energieabsorption im Werkstoff durch Veränderung der Bearbeitungsgeschwindigkeit.

Wird so verfahren, daß Prozeßparameter geregelt werden, daß also die Bearbeitungsgeschwindigkeit und/oder die Leistung fortwährend geregelt werden, um die Energieabsorption im Werkstoffvolumen zu beeinflussen, also im Sinne einer vollständigen Energieabsorption ausschließlich durch Werkstoffvolumen der Werkstücke, so erfolgt die Regelung vorteilhafterweise in Abhängigkeit von der fortwährend gemessenen Schmelzentemperatur. Dabei wird eine berührungslose Temperaturmessung im Bereich der Fügezone benutzt, z.B. mit einer Thermosäule oder mit einem Pyrometer. Die Regelung erfolgt dem Meßergebnis entsprechend derart, daß die Zersetzungstemperatur des Werkstoffs nicht erreicht oder überschritten wird. Des weiteren ist von besonderer Bedeutung, und zwar bei einem Verfahren, bei dem in Bestrahlungsrichtung hinter dem energieabsorbierenden Werkstoffvolumen ein energierückstrahlendes Teil verwendet wird, das mindestens ein die Laserstrahlung reflektierendes Teil verwendet wird. Eine Reflexion der Laserstrahlung bedeutet, daß das die Reflexion bewirkende Teil selbst keine Energie aufnimmt, abgesehen von unmaßgeblichen, für die Energiebilanz unwesentlichen Anteilen. Die reflektierte Laserstrahlung kann dann im Werkstoff vollständig absorbiert werden. Ist die reflektierte Strahlung zu energiereich, um im Reflexionsbereich des Werkstoffs absorbiert zu werden, so kann ein weiteres die Laserstrahlung reflektierendes Teil verwendet werden, wenn die für diese zweite Reflexion oder für weitere Reflexionen erforderliche Strahlführung in geeigneter Weise festgelegt wird.

Das Verfahren ist nicht darauf beschränkt, daß das Laserstrahlung reflektierende Teil hinter den zu fügenden Werkstücken angeordnet ist. Vorteilhafterweise wird es auch so ausgestaltet, daß ein Laserstrahlung reflektierendes Teil im Inneren mindestens eines Werkstücks oder zwischen beiden Werkstücken verwendet wird. Dadurch ist es insbesondere bei stärkeren Werkstücken möglich, z.B. bei Folien, Platten oder Halbzeu-

gen, die Eindringtiefe der Laserstrahlung festzulegen. Ein derartiges Verfahren wird beispielsweise beim Hohlraumschweißen verwendet, wo es darauf ankommt, daß die dem Laserstrahl abgewendete Wandfläche nicht aufgeschmolzen wird.

In Ausgestaltung der Erfindung wird das Verfahren so durchgeführt, daß die Laserstrahlung bei einem Durchstrahlen des energieabsorbierenden Werkstoffvolumens in einem den Winkel der Totalreflexion unterschreitenden Winkel auf eine das energieabsorbierende Werkstoffvolumen begrenzende Fläche eingestrahlt wird.

Die das energieabsorbierende Werkstoffvolumen begrenzende Fläche kann von einem vorerwähnten, Laserstrahlung reflektierenden Teil gebildet werden. Totalreflexion ist jedoch auch an anderen Grenzflächen möglich, beispielsweise an der Grenzfläche des Werkstücks mit der Luft. Liegen infolge der entsprechenden Gestaltung der dem Verfahren dienenden Anordnung geeignete Grenzflächen vor, so bewirkt die Totalreflexion, daß die Laserstrahlung den Werkstoff bzw. das Werkstück nicht mehr verlassen kann und die Strahlungsenergie infolgedessen vollständig durch Werkstoffvolumen absorbiert wird.

Um die Energieabsorption bei unterschiedlichen Gestaltungen der Werkstücke im Sinne möglichst vollständiger Energieabsorption beeinflussen zu können, wird die Laserstrahlung senkrecht oder parallel zur Fügeebene der Werkstücke in deren energieabsorbierendes Werkstoffvolumen eingestrahlt. Die jeweils günstigste Einstrahlungsrichtung wird durch die jeweils gegebene Fügegeometrie bestimmt, wie auch durch das angestrebte Ziel.

Bei einem Verfahren mit relativ zur Laserstrahlung bewegten Werkstücken kann es vorteilhaft sein, daß Laserstrahlung mit einem den Aufschmelzbereich in Bewegungsrichtung vergrößernden Querschnitt verwendet wird. Infolgedessen wird die Fügestelle in Bewegungsrichtung vergrößert und dadurch die Schmelztemperatur an den aufgeschmolzenen Stellen länger gehalten, damit die Schmelzen der Werkstücke besser ineinanderfließen. Dem gleichen Zweck der besseren Schmelzenmischung dient ein Verfahren, bei dem Laserstrahlung in einem Querschnitt verwendet wird, der zu einer Vorwärmung von Bereichen der der Fügezone unter gegenseitiger Annäherung zugeführten Werkstücke führt.

Werden die Werkstücke mit Druck gefügt, so ergibt sich eine bessere Verbindung durch einen innigeren Kontakt des aufgeschmolzenen Werkstoffs der Werkstücke. Derartige Druck wird durch Preßrollen, durch Preßgleiter oder durch eine starke Gasströmung nach Art des Preßschweißens erzielt. Derartiges Verfahren mit Druck wird insbesondere für Kunststofffolien angewendet.

Eine weitere Möglichkeit, die Verbindungsfestigkeit von Werkstücken zu fördern, liegt darin, daß die Werkstücke mit die gegenseitige Durchmischung des aufgeschmolzenen Werkstoffs fördernden gegenseitigen Verbindungseingriffen verwendet werden. Eine derartige Formgestaltung der Werkstücke mit Verbindungseingriffen ist insbesondere für dickere Werkstücke geeignet, wie Platten oder Halbzeuge. Die speziell ausgebildeten Fügeflächen der zu verbindenden Werkstücke brauchen jedoch nicht präzise ausgeführt zu werden, da etwaige Toleranzen bzw. Abstände zwischen den Werkstücken beim Aufschmelzen des Werkstoffs verschwinden. Die Formgestaltung der Werkstücke bedeutet da-

her keinen großen Herstellungsaufwand.

Es werden vorteilhafterweise Verbundfolien als Werkstücke verwendet, die mindestens eine thermoplastische Kunststoffschicht als Fügenschicht haben und/oder die eine Laserstrahlung reflektierende Verbundschicht haben. Es ist infolgedessen möglich, auch solche Werkstoffe zu miteinander zu verbindenden Folien zu verarbeiten, die an sich einer durch Wärme wirkenden Verbindungstechnik nicht zugänglich sind, indem sie mit einer thermoplastischen Kunststoffschicht als Fügenschicht versehen werden. Eine solche Verbundfolie kann also eine für einen bestimmten Einsatzzweck geeignete, aber nicht schweißbare Schicht haben, die mit einer für den bestimmten Einsatzzweck nicht geeigneten, jedoch zum Fügen dienenden Schicht versehen ist. Die Verbundfolie kann aber stattdessen oder auch zugleich eine Verbundschicht haben, die die Laserstrahlung reflektiert, um zu gewährleisten, daß die gesamte Strahlungsenergie zum Aufschmelzen der dem Fügen dienenden Schicht dient. Eine solche strahlungsreflektierende Schicht ist entweder eine beidseitig umkleidete Einlage-schicht, oder sie liegt einseitig offen, wobei die strahlungsreflektierende Verbundschicht zugleich auch als Schicht mit einem weiteren speziellen Einsatzzweck dienen kann, beispielsweise der thermischen Abschirmung oder der hygienischen Aufbewahrung von Lebensmitteln.

Die Erfindung bezieht sich auch auf eine Vorrichtung zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung, insbesondere für thermoplastische Kunststofffolien od.dgl., die auf eine Fügestelle der Werkstücke gerichtet ist und eine Energiedichte aufweist, die ein Aufschmelzen und Ineinanderfließen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle durch Energieabsorption bewirkt. Um zu Erreichen, daß das Fügeverfahren ohne Verlustenergie und infolgedessen und wegen einer Ausschaltung von Wärmeleitung mit einer höheren Bearbeitungsgeschwindigkeit ermöglicht wird, ist die eingestrahlte Energie ausschließlich innerhalb des bestrahlten Werkstoffvolumens absorbiert.

Vorteilhafterweise hat sie mindestens einen Leitkörper zum Formen eines Fügespalts flexibler Werkstücke, und die Leitkörper sind Laserstrahlung reflektierend. Mit Hilfe der Leitkörper können die Werkstücke in eine für das Fügen dienliche Form gebracht werden und zugleich sind die Leitkörper so ausgestaltet, daß Energieverluste nicht auftreten können, weil die Laserstrahlung von ihnen in den Fügespalt bzw. in die miteinander zu verbindenden flexiblen Werkstücke reflektiert wird, wo sie dem Aufschmelzen des Werkstoffs dient. In spezieller Ausgestaltung weist sie polierte Leitflächen für die Verarbeitung thermoplastischer Kunststofffolien auf, wobei die Leitflächen nicht nur der Strahlungsreflexion dienen, sondern zugleich auch dem oberflächenscho-nenden Zuführen der Kunststoffolien.

Die Vorrichtung ist besonders dann für das Verbinden von Kunststoffolien optimal, wenn sie einen parallel zur Fügeebene der thermoplastischen Kunststoffolien zugeführten Laserstrahl hat, und wenn die Breite und/oder die Länge des auf den Folien vorhandenen Strahlflecks einstellbar ist. In diesem Fall können die Folien durch eine geeignete Breite des Strahlflecks im gewünschten Sinne vor ihrem Zusammenführen vorgewärmt werden, nämlich mit der im Randbereich des Laserstrahls geringeren Energiedichte, während durch die Wahl der Länge des Strahlflecks derjenige Bereich des durch die Überlappung von Folien gebildeten Bereichs bestimmt wird, der aufgeschmolzen wird.

Die Erfindung wird anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine Vorrichtung zur Herstellung von Endlos-schlauch aus einer Folienbahn,

Fig. 2 ein Diagramm zur Erklärung der Wirkung der Reflexion von Laserstrahlung in ein durchstrahltes Werkstück,

Fig. 3, 4 Vorrichtungen zum Fügen von Folien, und

Fig. 5a bis i Fügespalte bzw. Fügezonen von miteinander zu verbindenden Werkstücken größerer Werkstoffstärken.

Gemäß Fig. 1 soll aus einem thermoplastischen Werkstück 1 in Gestalt einer flachen Kunststoffolie ein Schlauchbeutel 2 hergestellt werden, der eine Fügenaht 3 hat. Hierzu ist eine Folienführungsvorrichtung 5 erforderlich, die im wesentlichen aus der dargestellten Formschulter 6 besteht, welche eine Auflauffläche 6' für das Werkstück 1 hat. Die Auflauffläche 6' geht in einen Schulterbereich 6'' über, von dem aus das Werkstück 1 mit den Kanten 1', 1'' von einem Leitzkörper 7 der Formschulter 6 tangential zusammengeführt wird, um die Fügestelle bzw. die Fügenaht 3 zu bilden. Außerdem ist ein Trichter 8 vorhanden, dessen Auslauf 9 in ein schlitzrohrartiges Ende 10 der Formschulter 6 gesteckt ist, so daß das Werkstück 1 entsprechend geführt ist, was der gewünschten Formung dient und zugleich das Befüllen des Schlauchbeutels 2 ermöglicht.

Die Verbindung der Fügenaht 3 bzw. der Kanten 1', 1'' des Werkstücks 1 zu der Fügenaht 3 wird durch geeignete Strahlführung und Strahlformung des Laserstrahls 4 erreicht. Der Spiegel 11 dient der Reflexion des Laserstrahls 4 bei gleichzeitiger Umlenkung und Fokussierung auf die durch einen Kreis gekennzeichnete Fügestelle 12 zwischen Kanten des Leitzkörpers 7. Die Fokussierung erfolgt beispielsweise derart, daß der Laserstrahl an der Fügestelle 12 einen Strahlfleck mit einer in der Richtung des Fügespalts im Vergleich zur Strahlbreite erheblichen Länge hat, um zu einer sicheren Fügung der Kanten 1', 1'' zu kommen.

Der Leitzkörper 7 ist dadurch laserstrahlungsreflektierend, da er hochglanzpoliert oder oberflächenverspiegelt ist. Er reflektiert die durch das Werkstück 1 transmittierte Strahlung in das absorbierende Material zurück, wobei je nach Art des Werkstoffs auch eine mehrfache Reflexion zwischen den einander gegenüberliegenden Flächen des Leitzkörpers 7 möglich ist, wenn diese dafür ausgebildet sind, beispielsweise genügend lang.

Anhand von Fig. 2 wird das Grundsätzliche der Wirkung von durch ein Werkstück transmittierter Laserstrahlung für die Energieabsorption erläutert. Das Diagramm zeigt das Verhältnis  $I/I_0$  eines in Richtung 13 auf ein Werkstück 14 gestrahlten Laserlichtstroms und dessen Verlauf in Abhängigkeit von der durchstrahlten Dicke des letzteren. Es ist ersichtlich, daß der Lichtstrom sich zunehmend verringert, bis er auf der Austrittsseite 15 das Werkstück 14 verläßt. Er trifft dann auf einen Reflektor 16, der laserstrahlungsreflektierend ist, so daß der Lichtstrom in der verbliebenen Stärke in das Werkstück 14 zurück eintritt. Er wird dort entsprechend der gestrichelten Kurve absorbiert, so daß eine vollständige Lichtstrom- bzw. Energieabsorption im Werkstück 14 vorliegt. Da diese Energieabsorption mit einer Wärmeinkoppelung verbunden ist, bedeutet die Absorption der reflektierten Laserstrahlung einen entsprechenden Wärmezuwachs im Werkstück 14 entsprechend der gestrichelten Fläche 17. Der reflektierte Strahlungs- bzw. Lichtstrom Itrans führt also zu einer entsprechend ver-

gleichmäßigen Verteilung der Energie im Werkstück 14 und damit zu einer Vergleichmäßigung der Fügefestigkeit. Dies ist ein weiterer bedeutender Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens außer der Verringerung der Energieverluste bzw. der Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit.

Fig. 3 zeigt die Verbindung zweier als Folien ausgestalteter Werkstücke 1, die in ihren Vorschubrichtungen 18 von Leitzkörpern 7 tangential zusammengeführt und von einem in Einstrahlungsrichtung 19 einfallenden Laserstrahl 4 miteinander zu einer Dickfolie 20 verbunden werden, die in Vorschubrichtung 21 abgezogen wird.

Der Laserstrahl 4 ist derart fokussiert, daß er eine Strahlfleckbreite 22 hat, die die Dicke der herzustellenden Dickfolie 20 übersteigt. Infolgedessen werden die Folienwerkstücke 1 bereits vor ihrem Zusammenlaufen in Bereichen 23 erwärmt bzw. aufgeschmolzen, um in der Fügezone 24 miteinander verbunden zu werden. Soll eine derartige frühzeitige Erwärmung nicht erfolgen, so braucht der Laserstrahl 4 nur eine Strahlfleckbreite 22' aufzuweisen, die sich an dem Abstand der Leitzkörper 7 im Bereich der Fügezone 24 orientiert.

Wenn die Folienwerkstücke 1 mit einer Strahlfleckbreite 22 bestrahlt werden und die Laserstrahlung zum Teil durchlassen, trifft diese auf Reflexionsflächen 25, von denen sie in den Werkstoff reflektiert wird, was durch die Pfeile 26 angedeutet ist. Die betreffenden Reflexionsflächen 25 sind wiederum hochglanzpoliert oder oberflächenverspiegelt, was allerdings nicht notwendig ist, wenn der ersichtliche Reflexionswinkel kleiner ist, als der Winkel der Totalreflexion an der Außenfläche 27 der Werkstücke 1.

Fig. 4 zeigt eine der Fig. 3 ähnliche Anordnung mit Werkstücken 1, die aus Verbundfolie bestehen. Jedes Werkstück 1 hat eine Außenschicht 28, eine Fügenschicht 29, die also dem Fügen beider Werkstücke 1 zu einer Dickfolie 20' dienen sowie eine von den Schichten 28, 29 eingebettete Aluminiumschicht 30, die der Reflexion von Anteilen des Laserstrahls 4 dient, welche die Fügenschicht 29 durchstrahlen. In diesem Fall ist es nicht nötig, daß die Leitzkörper 7 strahlungsreflektierende Eigenschaften haben, oder daß durch die Anordnung der Werkstücke 1 einerseits und die Bemessung bzw. Fokussierung des Laserstrahls 4 andererseits auf eine etwaige Totalreflexion an der mittleren Schicht Rücksicht genommen wird.

Die Fig. 5a bis 5i zeigen unterschiedliche Gestaltungen von Fügespalten bzw. Fügezonen bei Werkstücken größerer Dicke. Fig. 5a zeigt einen stumpfen Stoß zweier plattenförmiger Werkstücke 31 mit einem zu ihnen vertikalen Fügespalt 32 und einer Fügezone 33, deren Breite durch die Breite 22 des Strahlflecks des Laserstrahls 4 bestimmt wird. Gemäß Fig. 5b ist der Fügespalt 32 derart schräg in der Fügezone 33 angeordnet, daß sie sich über deren gesamte Breite erstreckt. Fig. 5c zeigt zwei plattenförmige Werkstücke 31 mit einem Überlappungsstoß, bei dem die Überlappungsfläche in Plattenmittelebene angeordnet ist. Im Vergleich dazu ist der Stoß gemäß Fig. 5d einfach keilförmig, wobei alle Flächenabschnitte eines Werkstücks 31 innerhalb der Fügezone 33 liegen. Gemäß Fig. 5e sind die Werkstücke 31 nut-federartig und gemäß Fig. 5f doppelkeilförmig bzw. verzahnt miteinander in Eingriff. Hierdurch wird die Verbindungsfestigkeit der Werkstücke 31 mittels besserer Durchmischung der Schmelzen erreicht. Die Fig. 5g, h zeigen einen einfachen Überlappungsstoß bzw. einen unter Absetzungen von Werkstücken 31 gebildeten Überlappungsstoß, wobei die Fügezone 33 je-

weils der Überlappungsbreite entspricht. Fig. 5i zeigt eine Flanschverbindung zweier als Halbzeug gestalteter Werkstücke 31', bei denen die aneinandergrenzenden Flächen doppelkeilförmigen Querschnitt aufweisen, etwa gemäß Fig. 5f, wobei aber die Breite 22 des Strahlflecks des Laserstrahls 4 gleich der Gesamtbreite des Verbindungsflansches ist. Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Durchmischung der Werkstoffschmelze um so besser ist, je tiefer die gegenseitigen Verbindungseingriffe der Werkstücke 31, 31' sind, und je größer der Anteil zur Werkstückebene geneigter Verbindungsflächen ist.

Die Fig. 5k, l zeigen plattenartige Werkstücke 31 in stumpf gestoßener Anordnung und mit einer Vielzahl von Verbindungseingriffen bzw. mit einem entsprechend mäanderförmigen Fügespalt 32, der sich über die gesamte Breite der Fügezone 33 erstreckt. Eine Besonderheit ist die Anordnung eines Reflektorstreifens 34, der verhindert, daß die in Richtung 35 eingestrahlte Laserstrahlung die Werkstücke 31 vollständig durchsetzt. Vielmehr wird die Laserstrahlung reflektiert und dadurch die Tiefe der Fügezone 33 bestimmt. Die beiden Ausführungsformen unterscheiden sich dadurch, daß das reflektierende Teil 34 bei Fig. 5k im Fügespalt 32 zwischen den Werkstücken 31 angeordnet ist, wozu der Fügespalt 32 im Querschnitt entsprechend vergrößert ausgebildet sein muß. Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 5l ist das reflektierende Teil 34 innerhalb des linken Werkstücks 31 in einer entsprechend geformten Nut angeordnet.

Die vorbeschriebenen Verfahren werden beispielsweise mit einem Laserstrahl eines Kohlendioxidlasers durchgeführt, wobei die Strahlführung der Anwendung angepaßt werden kann. Die Strahlführung kann dreidimensional gesteuert werden, so daß das Verfahren sehr anpassungsfähig ist, wenn mit den herkömmlichen Fügeverfahren verglichen wird. Das Verfahren ist insbesondere bei dünnen Folien von 10 Mikrometer bis 1 Millimeter vorteilhaft anwendbar, weil die Kunststoffe bei derartigen Materialstärken häufig Strahlung transmittieren, die sonst verlorengeht.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung, die auf eine Fügestelle der insbesondere aus thermoplastischem Kunststoff bestehenden Werkstücke gerichtet und mit einer Energiedichte angewendet wird, die ein Aufschmelzen und Ineinanderfließen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle durch Energieabsorption bewirkt, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstückbestrahlung im Sinne vollständiger Energieabsorption ausschließlich durch Werkstoffvolumen der Werkstücke (1, 14, 31, 31') durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Energieabsorptionsvermögen des Werkstoffs mit Zusatzstoffen beeinflusst wird, die dem Werkstoff bei dessen Herstellung beigegeben werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Energieabsorption im Werkstoff durch eine Auswahl der Wellenlänge der Laserstrahlung beeinflusst wird.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, bei dem Prozeßparameter geregelt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung in

Abhängigkeit von der fortwährend gemessenen Schmelzentemperatur erfolgt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem in Bestrahlungsrichtung hinter dem energieabsorbierenden Werkstoffvolumen ein energierückstrahlendes Teil verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein die Laserstrahlung reflektierendes Teil (z.B. Leitkörper 7, Reflektorstreifen 34) verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Laserstrahlung reflektierendes Teil (z.B. Reflektorstreifen 34) im Inneren mindestens eines Werkstücks (1, 31, 31') oder zwischen beiden Werkstücken verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung bei einem Durchstrahlen des energieabsorbierenden Werkstoffvolumens in einem den Winkel der Totalreflexion unterschreitenden Winkel auf eine das energieabsorbierende Werkstoffvolumen begrenzende Fläche eingestrahlt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung senkrecht oder parallel zur Fügeebene der Werkstücke (1, 31, 31') in deren energieabsorbierendes Werkstoffvolumen eingestrahlt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mit relativ zur Laserstrahlung bewegten Werkstücken, dadurch gekennzeichnet, daß Laserstrahlung mit einem den Aufschmelzbereich in Bewegungsrichtung vergrößernden Querschnitt verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß Laserstrahlung in einem Querschnitt verwendet wird, der zu einer Vorwärmung von Bereichen der der Fügezone unter gegenseitiger Annäherung zugeführten Werkstücke (1) führt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (1, 31, 31') mit Druck gefügt werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (31, 31') mit der gegenseitige Durchmischung des aufgeschmolzenen Werkstoffs fördernden gegenseitigen Verbindungseingriffen verwendet werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß Verbundfolien als Werkstücke (1) verwendet werden, die mindestens eine thermoplastische Kunststoffschicht als Füge-schicht (29) haben und/oder die eine Laserstrahlung reflektierende Verbundschicht (Aluminiumschicht 30) haben.

14. Vorrichtung zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung, insbesondere für thermoplastische Kunststofffolien od.dgl., die auf eine Fügestelle der Werkstücke gerichtet ist und eine Energiedichte aufweist, die ein Aufschmelzen und Ineinanderfließen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle durch Energieabsorption bewirkt, dadurch gekennzeichnet, daß eingestrahlte Energie ausschließlich innerhalb des bestrahlten Werkstoffvolumens absorbiert ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens einen Leitkörper (7) zum Formen eines Fügespalts (32) flexibler Werkstücke (1) hat, und daß die Leitkörper (7) Laserstrahlung reflektierend sind.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß sie polierte Leitflächen für die Verarbeitung thermoplastischer Kunststoffolien aufweist.

17. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß sie einen parallel zur Fügeebene der thermoplastischen Kunststoffolien zugeführten Laserstrahl (4) hat, und daß die Breite (22) und/oder die Länge des auf den Folien vorhandenen Strahlflecks einstellbar ist.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

87/21407-ILT

3813570

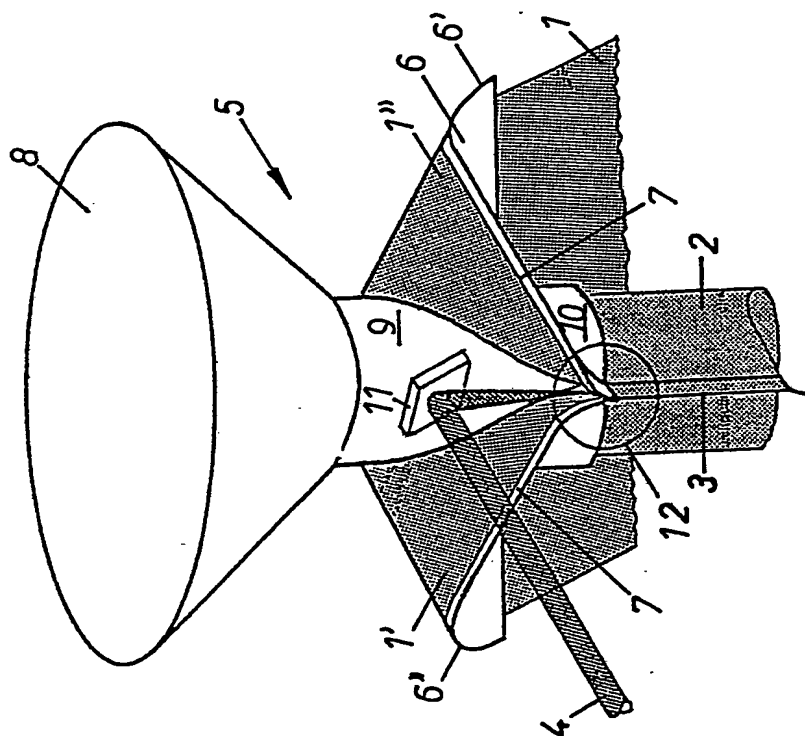
Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

38 13 570  
B 29 C 65/16  
22. April 1988  
9. November 1989

Sp/Gr

18

FIG. 1





19

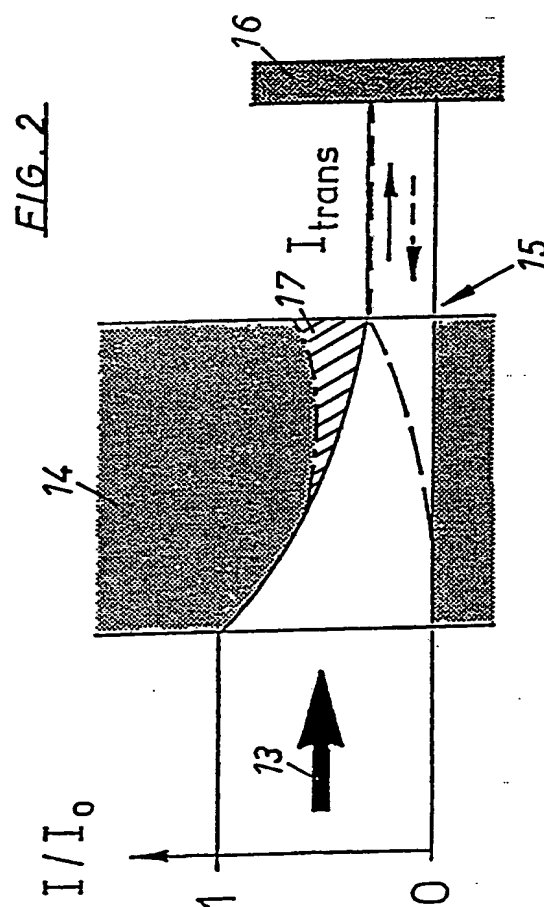
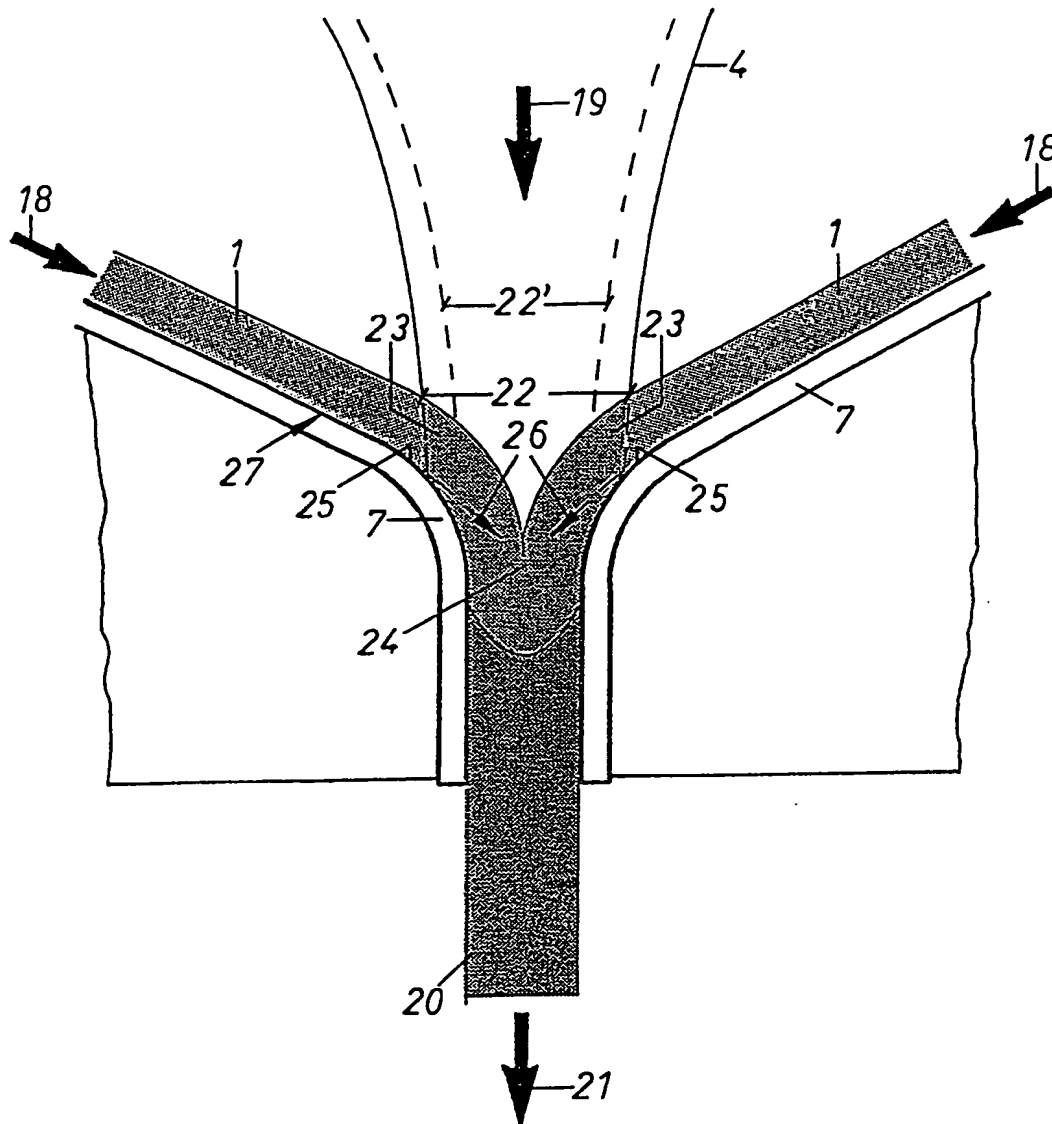


FIG. 3

3813570

87/21407-ILT

18.04.1988  
Sp/Gr

21

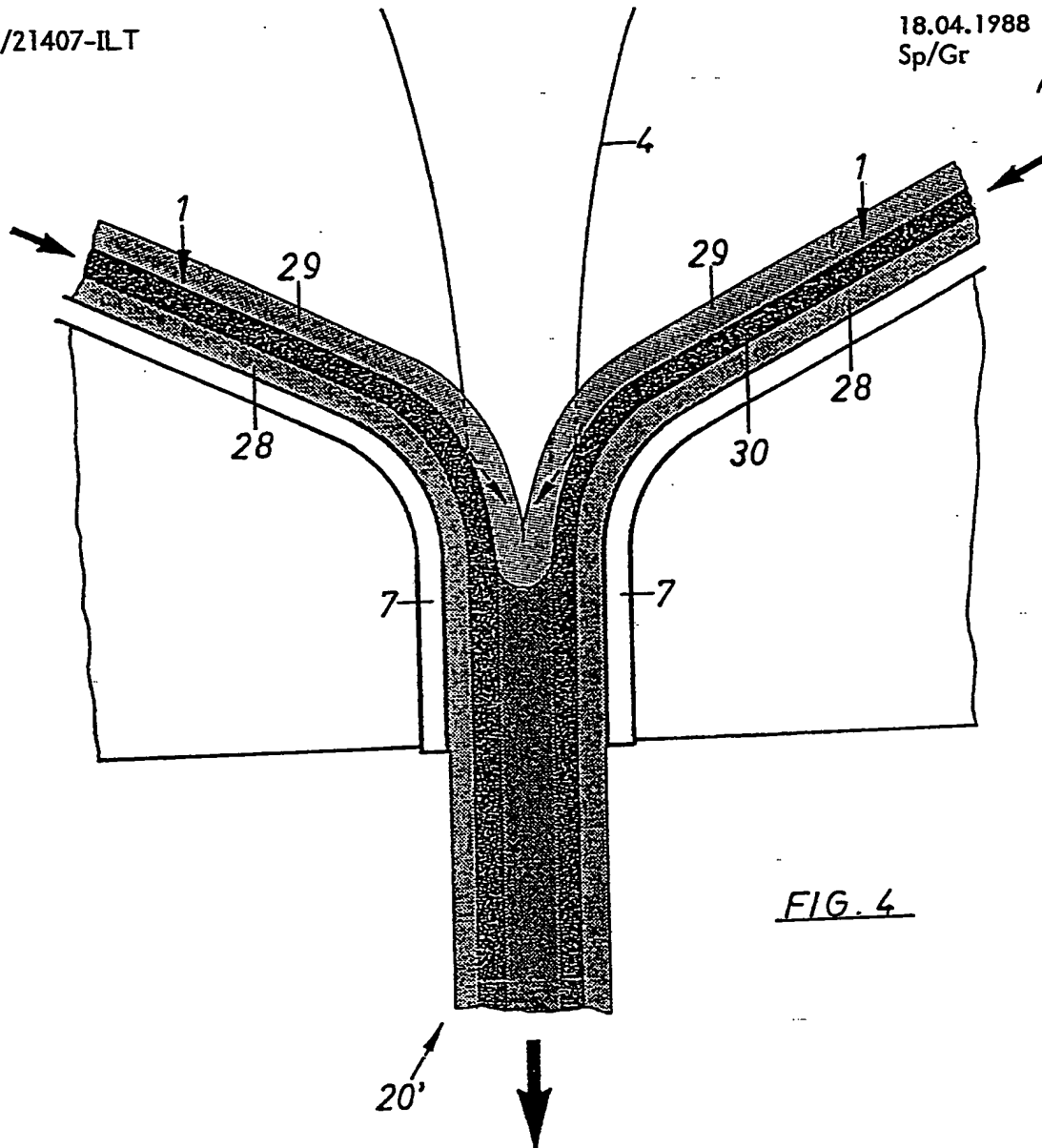
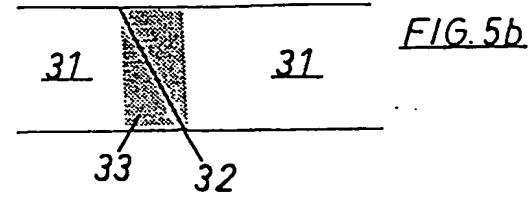
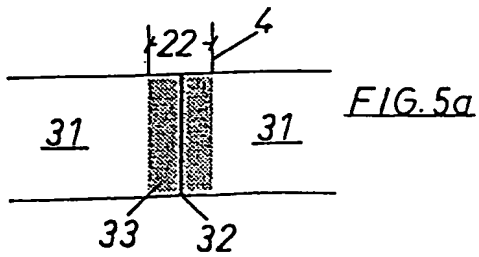


FIG. 4

3813570



22\*

